

УДК 656 : 338.47

И.А.ГАВРИЛЕНКО, Н.И.САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук  
*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Рассматриваются вопросы надежности трубопроводных транспортных систем и методы их оценки. Предлагается новый подход к оценке надежности, учитывающий надежность функционирования системы и надежность поставки целевого продукта потребителям.

Совершенствование и развитие современных транспортных систем, существенная доля которых приходится на трубопроводный транспорт, по-прежнему остается одной из актуальнейших проблем, стоящих в настоящее время перед народным хозяйством Украины.

Основное функциональное назначение трубопроводной транспортной системы состоит в обеспечении потребителей требуемым количеством целевого продукта (ЦП) под давлением не менее минимально допустимого при максимально возможной надежности функционирования сети и максимально возможной надежности (не ниже заданной) поставки ЦП каждому потребителю. При этом во времени объем поставляемого ЦП для каждого потребителя изменяется (по часам суток, дням недели, сезонам и т.д.), а обеспечить требуемое поточное распределение необходимо с минимальными общими затратами, включая энергетические затраты на транспорт целевого продукта, ликвидацию аварий, общие расходы на содержание служб эксплуатации и пр., и максимальной общей прибылью.

Трубопроводные транспортные сети относятся к очень сложным системам, и общее состояние сетей, как правило, отличается от спроектированных вследствие:

- переменного характера потребления целевого продукта;
- дальнейшего разветвления сети и изменения протяженности;
- нарастающих темпов износа и старения трубопроводов;
- ограниченности финансовых ресурсов на модернизацию инженерных систем;
- отсутствия нормативно закреплённых методов оценки надежности трубопроводных транспортных систем.

Все это приводит к снижению надежности существующих трубо-

проводных транспортных систем, нарушает бесперебойность снабжения ЦП потребителей, а в условиях дефицита ЦП не позволяет решить задачу его рационального распределения.

Анализ существующих методов оценки надежности функционирования трубопроводных сетей, которые используются в современных автоматизированных системах управления технологическими процессами, показал отсутствие единой методики расчета надежности трубопроводных транспортных сетей высокой размерности. Несмотря на большое количество работ, посвященных различным аспектам надежности, до сих пор нет исчерпывающей методики определения надежности трубопроводных транспортных систем.

Авторами работ [1-4] предлагаются самые разные показатели, служащие для оценки надежности. К ним можно отнести:

- *относительные показатели*, описывающие время пребывания системы в исправном состоянии, состоянии с одним отключенным участком, двумя и т.д.;

- *вероятностные показатели* надежности, характеризующие надежность сети в целом, надежность отдельных участков или фрагментов сети, вероятность получения продукта каждым отдельным потребителем.

Задаче определения времени нахождения сети в исправном состоянии, состоянии с одним отключенным участком, двумя и т.д., посвящено большое количество работ [1, 3], в которых описана методика оценивания данных величин.

Трубопроводная сеть с точки зрения теории надежности рассматривается как схема «гибели и размножения» [1]. При этом задачи надежности решаются с использованием методов теории систем массового обслуживания.

Для определения вероятностей нахождения системы в конкретном состоянии могут быть использованы уравнения Колмогорова, представляющие собой дифференциальные уравнения, в которых неизвестными функциями являются вероятности состояний. Система уравнений Колмогорова описывает размеченный граф состояния трубопроводной сети, содержащей  $n$  участков. Составленная таким образом система позволяет определить неизвестные вероятности состояний – время (в процентном отношении), в течение которого система:

- полностью исправна;
- имеет поврежденный участок;
- имеет множество поврежденных участков.

Недостатком этого метода является его сложность – система уравнений для сравнительно небольшой сети содержит большое число

уравнений. Если трубопроводная сеть содержит  $n$  участков, то для решения уравнений Колмогорова придется решать систему из  $2^n$  уравнений. Так, если сеть содержит всего 20 участков, то потребуются решение системы из  $2^{20} \approx 10^6$  уравнений. Решение такой системы требует больших объемов памяти и больших временных затрат. Поэтому для быстрой оценки надежности трубопроводных транспортных сетей высокой размерности использовать данный метод нерационально.

Вероятностные показатели надежности широко используются в теории систем массового обслуживания [2]. Среди них:

- вероятность отказа в обслуживании;
- среднее количество требований, ожидающих обслуживания;
- среднее число занятых обслуживанием каналов;
- общее количество требований, находящихся в системе;
- среднее время ожидания начала обслуживания.

С точки зрения надежности большой интерес представляет такой показатель работы систем массового обслуживания, как ожидание ремонта или нахождение в системе определенного числа требований  $K$  на ремонт участка сети. Ремонту подлежат только те участки, повреждение которых делает невозможным их дальнейшую эксплуатацию и приводит к их выключению. Выключенный участок может находиться в ремонте или ожидать ремонта. Используя методы теории систем массового обслуживания можно вычислить вероятность того, что в системе выключено  $K$  участков ( $P_K$ ). Исходными данными при этом будут являться:

- число ремонтных бригад, обслуживающих трубопроводную сеть;
- количество участков в сети;
- интенсивность поступления заявок на ремонт в систему (средняя наработка до отказа);
- интенсивность обслуживания заявки (среднее число обслуженных требований в единицу времени).

При оценке надежности трубопроводных сетей используют расчетную модель надежности [4], которая отражает вероятностные показатели надежности структурных элементов сети. Различают следующие категории моделей надежности трубопроводных транспортных систем:

- последовательная;
- параллельная;
- смешанная;
- мостовая.

В соответствии с этими категориями моделей надежности существует четыре способа расчета надежности.

Для расчета надежности последовательных и параллельных подсистем используют формулы

$$P_{\text{посл.}} = \prod_{i=1}^n p_i ; \quad (1)$$

$$P_{\text{пар.}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) , \quad (2)$$

где  $p_i$  – показатель надежности  $i$ -го структурного элемента системы;  $n$  – общее число элементов в последовательной или параллельной подсистемах соответственно.

Анализ моделей (1)-(2) показывает, что с увеличением числа элементов  $n$  в подсистеме величина  $P_{\text{посл.}}$  уменьшается, а величина  $P_{\text{пар.}}$  увеличивается. Чем сложнее последовательная подсистема, тем ниже ее надежность. Чем сложнее параллельная подсистема, тем выше ее надежность.

Смешанная модель надежности представляет собой комбинацию последовательных и параллельных участков системы. Расчет таких систем базируется на замене последовательных и параллельных участков модели одним участком с эквивалентным показателем надежности.

Мостовые соединения являются одним из способов повышения надежности. Методика расчета мостовых моделей надежности основана на сведении ее к эквивалентной смешанной модели. Проблема расчета таких систем рассмотрена в работе [3]. Нами предложено упростить общую схему расчета путем разработанного рекуррентного соотношения для вычисления вероятности безотказной работы мостового соединения.

Проблема надежности поставки ЦП потребителям достаточно полно освещена в работе [3]. Под надежностью поставки целевого продукта в рассматриваемый период времени понимается относительное время, в течение которого потребитель имеет возможность получать целевой продукт. Определение данной величины связано непосредственно со структурой сети.

С помощью рекурсивных алгоритмов и разработанных показателей решается задача оценки времени, в течение которого конкретный потребитель не сможет получать ЦП вследствие аварии на сети. В предлагаемых алгоритмах исходными данными являются математиче-

ская модель конкретной трубопроводной сети в виде граф-схемы и конкретная дуга, соответствующая аварийному трубопроводу. Решением задачи является подграф, который однозначно определяет аварийную зону и подмножество запорной арматуры, отсекающей аварийную зону от сети. Однако рекурсивные алгоритмы требуют много машинной памяти, особенно для сетей с большой степенью закольцованности.

Анализ методов оценки надежности трубопроводных транспортных систем позволяет сделать следующие выводы. Наиболее часто рассматривают надежность трубопроводных транспортных систем без учета надежности поставки ЦП потребителям, что не учитывает в полной мере целевое назначение исследуемого объекта. Существующие подходы к расчету надежности поставки ЦП не принимают во внимание техническую надежность систем. Поэтому возникает необходимость в разработке такого подхода к оценке надежности функционирования транспортных систем, который бы позволил учесть и техническую надежность всей системы, и надежность поставки ЦП. Предлагаемый подход будет более полно отражать основное целевое назначение трубопроводной транспортной системы, которое состоит не только в обеспечении потребителей требуемым количеством целевого продукта под заданным давлением, но и в максимально возможной надежности поставки ЦП каждому потребителю при максимально возможной надежности функционирования сети. Это позволит оценить как надежность поставки ЦП конкретному потребителю, так и надежность функционирования системы в целом.

1. Гальперин Е.М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 104 с.

2. Самойленко Н.И., Скоков Б.Г. Исследование операций (Математическое программирование. Теория массового обслуживания). – Харьков: ХНАГХ, 2005. – 171 с.

3. Рудь И.А. Методы, критерии и алгоритмы принятия решений по эксплуатации и развитию инженерных сетей с учетом их надежности: Дисс. ... канд. техн. наук. – Харьков: ХГАГХ, 2001. – 153 с.

4. Евдокимов А.Г., Коринько И.В., Кузнецов В.Н., Самойленко Н.И. Рациональная эксплуатация и развитие систем водоснабжения и водоотведения. Т.2. Автоматизация процессов водоотведения / Под ред. Евдокимова А.Г. и Самойленко Н.И. – Харьков: ХТУРЭ, 1998. – 342 с.

*Получено 05.05.2005*